




Method of monitoring a pumping limit of a multistage turbocompressor with intermediate cooling

Patent Number:  US5290142
Publication date: 1994-03-01
Inventor(s): ISPAS IOAN (DE); GRUNDMANN ULRICH (DE); VAN HOOF YVAN (DE)
Applicant(s): ATLAS COPCO ENERGAS (DE)
Requested Patent:  DE4202226
Application Number: US19920952964 19920929
Priority Number(s): DE19914132735 19911001; DE19924202226 19920128
IPC Classification: F04D27/02
EC Classification: F04D27/02B
Equivalents: IT1255836, JP2740429B2,  JP6101654

Abstract

A method of operating a multistage turbocompressor or of monitoring the pump limit thereof, whereby the pump limit function is stored in the control unit in the form $Y=m.F+b$ and the coefficients m and b are determined by the linear relationships $m=m_0+m_1.dT_s+\sum m_{2i}.dT_{ri}$ $b=b_0+b_1.dT_s+\sum b_{2i}.dT_{ri}$ where T_s and T_{ri} represent the intake temperature and the backcooling temperatures following coolers after each turbocompressor and dT_s and T_{ri} and reference temperatures T_{ref} . The system automatically compensates for the shift of the pump limit with temperature and allows operation closer to the pump limit or boundary for stable aerodynamic operation.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 42 02 226 C 2

⑤① Int. Cl. 6:
F 04 D 27/02

②① Aktenzeichen: P 42 02 226.6-51
②② Anmeldetag: 28. 1. 92
④③ Offenlegungstag: 8. 4. 93
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 8. 6. 95

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③① Innere Priorität: ③② ③③ ③①

01.10.91 DE 41 32 735.7

⑦③ Patentinhaber:

Atlas Copco Energas GmbH, 50999 Köln, DE

⑦④ Vertreter:

Andrejewski, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Honke, M.,
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Masch, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.;
Albrecht, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anwälte, 45127
Essen

⑦② Erfinder:

Ispas, Ioan, Dr., 5000 Köln, DE; Grundmann, Ulrich,
Dipl.-Ing., 4223 Voerde, DE; Hoof, Yvan von,
Dipl.-Ing., 5000 Köln, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

US 34 41 200

KREDEL, Horst: Pumpgrenzregelung von Turbo-
verdichtern, in: BBC-Nachrichten, November 1963,
S. 519-527;

STAROSELSKY/LADIN: »Improved Surge control for
centrifugal compressors« in: US-Z. »Chemical
Engineering«, Mai 1979, S.175-184;

GASTON/DRESSER: »Antisurge control schemes for
turbocompressors« in: US-Z. »Chemical Enginee-
ring«, April 1982, S.139-147;

⑤④ Verfahren zur Überwachung eines mehrstufigen, zwischengekühlten Turboverdichters

DE 42 02 226 C 2

DE 42 02 226 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze eines mehrstufigen, zwischengekühlten Turboverdichters.

Pumpgrenze bezeichnet eine aerodynamische Stabilitätsgrenze, welche das Kennfeld eines Turboverdichters begrenzt. Bei Unterschreitung der Pumpgrenze treten Rückströmungen im Turboverdichter auf, die Druckschwankungen und Temperaturerhöhungen verursachen und als Pumpgeräusche deutlich wahrnehmbar sind. Eine Betriebsweise des Turboverdichters an der Pumpgrenze führt nach kurzer Betriebszeit zu Lagerschäden und Schäden an den Laufrädern. Zur Vermeidung eines Verdichterbetriebes im instabilen Bereich des Kennfeldes werden Überwachungs- und Kontroll-einrichtungen eingesetzt, die bei kritischer Annäherung an die Pumpgrenze ein Abblasventil zur Atmosphäre oder ein Absperrventil in einer Umwälzleitung, die Druck- und Saugleitung des Verdichters verbindet, öffnet. Auf diese Weise wird ein Mindestdurchfluß durch den Turboverdichter aufrechterhalten und verhindert, daß die Pumpgrenze unterschritten wird.

Eine aus US-A-3 441 200 bekannte Kontrolleinrichtung ist für mehrstufige, zwischengekühlte Turboverdichter bestimmt, die bei konstantem Enddruck und vorgegebenem Volumenstrom betrieben werden. Der eintrittsseitige Druck, die Ansaugtemperatur und die Zwischenkühltemperaturen werden gemessen und alle Meßwerte summiert. Das so gebildete Summensignal wird mit einem Referenzsignal verglichen und ein Differenzsignal gebildet. Nach Maßgabe des Differenzsignals wird über eine Drosselrichtung der eintrittsseitige Druck nachgestellt und einer temperaturbedingten Änderung der Turboverdichterkennlinie so angepaßt, daß der Betriebspunkt der Turbomaschine nicht in den Pumpgrenzbereich wandert. Ändert sich der Enddruck oder der Volumenstrom, so muß an der Kontrolleinrichtung ein empirisch zu bestimmender Referenzwert neu eingestellt werden. Für Turboverdichter, deren Betriebspunkte betriebsmäßig verändert werden müssen, ist die Kontrolleinrichtung ungeeignet.

Zwischengekühlte Turboverdichter sollen einen breiten Volumenregelbereich aufweisen. Als Regelorgane werden Eintritts- oder Austrittsleitapparate sowie Antriebe mit variabler Drehzahl eingesetzt. Auch Kombinationen sind möglich. Die Ausnutzung der Kennfeldbreite hängt entscheidend von der Genauigkeit ab, mit der die Pumpgrenze vorausgesagt werden kann. Aus Chemical Engineering (Mai 1979), Seiten 175 bis 184, und Chemical Engineering (April 1982), Seiten 139 bis 147, bekannte Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze vernachlässigen den Temperatureinfluß auf die Pumpgrenze. Die Stufeneintrittstemperaturen haben jedoch wesentlichen Einfluß auf die Lage der Pumpgrenze. Beim Betreiben des Turboverdichters sind Schwankungen in bezug auf die Stufeneintrittstemperaturen nicht zu vermeiden. Diese Schwankungen können betriebsbedingt sein, beispielsweise durch verschmutzte oder schlecht arbeitende Kühler, Schwankungen des Kühlmengenstromes und dergleichen. Es kommen saisonbedingte Änderungen der Ansaugtemperatur des zu verdichtenden Gases hinzu. Die Vernachlässigung der Temperatureinflüsse auf die Lage der Pumpgrenze führt dazu, daß der Turboverdichter mit großem Sicherheitsabstand von der tatsächlichen Pumpgrenze betrieben werden muß und der Volumenregelbereich nicht ausgenutzt werden kann.

Aus "BBC-Nachrichten" (November 1963), Seiten 519 bis 527, ist ein Pumpgrenzregelverfahren bekannt, bei dem Volumenstrom- und Druckmeßwerte aufgenommen werden und der daraus resultierende Betriebspunkt mit einem Ausblasgrenzwert verglichen wird, der einen vorgegebenen Sicherheitsabstand von dem Pumpgrenzwert aufweist. Wird der Sicherheitsabstand unterschritten, so wird ein Steuersignal abgegeben, welches ein Absperrventil in einer druckseitig angeordneten Abblasleitung öffnet. Die Ansaugtemperatur wird ebenfalls gemessen und ihr Einfluß auf den Pumpgrenzwert über ein dem Pumpgrenzregler zugeordnetes Temperaturkorrekturglied berücksichtigt. Der bekannte Pumpgrenzregler arbeitet mechanisch mit einer Kurvenscheibe, deren Kontur dem Verlauf der Pumpgrenze nachgebildet ist. Im Rahmen der bekannten Maßnahmen liegt es, die Ausblasgrenze durch eine oder mehrere Geraden anzunähern. Grundsätzlich ist es auch bekannt, daß bei Verdichtern mit Zwischenkühlung die Kühlwassertemperaturen den Verlauf der Pumpgrenze beeinflussen. Bei dem bekannten Pumpgrenzregelverfahren bleibt der Einfluß der Rückkühltemperaturen jedoch unberücksichtigt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze eines mehrstufigen, zwischengekühlten Turboverdichters anzugeben, bei dem der Einfluß der Stufeneintrittstemperaturen auf die Lage der Pumpgrenze berücksichtigt ist.

Gegenstand der Erfindung und Lösung der genannten Aufgabe ist ein Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze eines mehrstufigen, zwischengekühlten Turboverdichters, wobei

— die Ansaugtemperatur (T_s) am Eintritt in eine erste Verdichterstufe des Turboverdichters sowie die Rückkühltemperaturen (T_H) in den nachgeschalteten Verdichterstufen ($i = 1$ bis Anzahl der Zwischenkühlungen) jeweils nach der Zwischenkühlung gemessen, die Temperaturmeßwerte einer Kontrolleinrichtung mit Datenspeicher zugeführt und Temperaturdifferenzen (dT_s , dT_H) von einer vorgegebenen Referenztemperatur (T_{ref}) ermittelt werden,

— der eintrittsseitige Druck (p_1) und der austrittsseitige Druck (p_2) des Turboverdichters sowie der durch den Turboverdichter geführte Volumenstrom (F) gemessen werden und die Meßwerte (p_1 , p_2 , F) ebenfalls der Kontrolleinrichtung mit Datenspeicher zugeführt werden,

— entweder mit den Druckmeßwerten (p_1 , p_2) oder dem Meßwert des Volumenstroms (F) sowie den Temperaturdifferenzen (dT_s , dT_H) nach einer in der Kontrolleinrichtung abgespeicherten Pumpgrenzfunktion

$$Y = m \cdot F + b,$$

welche den Verlauf der Pumpgrenze im Verdichterkennfeld zumindest abschnittsweise beschreibt, ein dem Betriebspunkt des Turboverdichters zugeordneter Pumpgrenzwert ermittelt wird, wobei Y der Druckdifferenz oder dem Druckverhältnis zwischen dem austrittsseitigen Druck (p_2) und dem eintrittsseitigen Druck (p_1) entspricht, wobei ferner die Koeffizienten m , b lineare Funktionen der Ansaugtemperatur (T_s) und der Rückkühltemperaturen (T_H) sind und unter Verwendung der gemessenen Temperaturdifferenzen (dT_s , dT_H)

gemäß

$$m = m_0 + m_1 \cdot dT_s + \sum m_{2i} \cdot dT_{ri}$$

$$b = b_0 + b_1 \cdot dT_s + \sum b_{2i} \cdot dT_{ri}$$

ermittelt werden,

und wobei die Volumenstrom- und Druckmeßwerte (F , p_1 , p_2) mit dem Pumpgrenzwert verglichen sowie bei Unterschreiten eines vorgegebenen Mindestabstandes ein Warn- oder Steuersignal zum Öffnen eines Absperrventils in einer druckseitig angeordneten Abblasleitung oder in einer Druck- und Saugseite des Verdichters verbindenden Umwälzleitung abgegeben wird. Zur Messung des Volumenstromes in Rohrleitungen werden in der Praxis zumeist Druckdifferenzmessungen an genormten Düsen, Blenden oder Venturi-Düsen durchgeführt. Es versteht sich, daß als Volumenstrommeßwert auch die gemessene Druckdifferenz an der Düse, Blende bzw. Venturi-Düse eingesetzt werden kann. Es versteht sich ferner, daß unterschiedliche Referenztemperaturen für die Ansaugtemperatur und die Rückkühltemperaturen verwendet werden können, wobei als Referenztemperaturen zweckmäßigerweise die Auslegungstemperaturen für die thermodynamische Auslegung des Turboverdichters gewählt werden.

Die Kennfelder des Verdichters für verschiedene Ansaug- und Rückkühltemperaturen einschließlich der Pumpgrenze werden durch Überlagerung von Kennlinien der Einzelstufen theoretisch bestimmt. Die thermodynamischen Kennfeldberechnungen sind dem Fachmann bekannt. Anschließend wird die Pumpgrenze durch Geraden für alle berechneten Fälle approximiert. Die Parameter m_0 , m_1 , m_{2i} , b_0 , b_1 , b_{2i} werden durch Lö-

sungen von linearen Gleichungssystemen bestimmt. Änderungen der Stufeneintrittstemperaturen (dT_s , dT_{ri}) wirken sich vornehmlich auf den Koeffizienten b aus. Sie bewirken eine Verschiebung der Pumpgrenze im Kennlinienfeld. Der Temperatureinfluß auf die Steigung der Pumpgrenzfunktion ist wesentlich kleiner, so daß man in vielen Fällen

$$m_1 = m_2 = 0$$

festlegen und den Temperatureinfluß auf die Steigung der Pumpgrenzfunktion vernachlässigen kann. Unterscheiden sich Rückkühltemperaturen nur geringfügig voneinander, so ist es in der Praxis ferner ausreichend, aus den Rückkühltemperaturmeßwerten (T_{ri}) durch arithmetische Mittelung über die Verdichterstufen ($i = 1, 2 \dots n$) eine mittlere Rückkühltemperatur (T_r) zu bestimmen und die mittlere Rückkühltemperatur (T_r) zur Berechnung der Koeffizienten m , b zu verwenden. In diesem Falle vereinfachen sich die Funktionen zur Berechnung der Koeffizienten m , b wie folgt:

$$m = m_0 + m_1 \cdot dT_s + m_2 \cdot dT_r$$

$$b = b_0 + b_1 \cdot dT_s + b_2 \cdot dT_r$$

Nach bevorzugter Ausführungsform der Erfindung sind die aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen durch Variation der Ansaug- und Rückkühltemperaturen errechneten Temperaturkoeffizienten m_1 , b_1 , m_{2i} , b_{2i} bzw. m_2 , b_2 als Festwerte in der Kontrolleinrichtung abgespeichert, während die Koeffizienten m_0 und b_0 durch Feldversuche am installierten Turboverdichter ermittelt und als Eingabewerte in die Kontrolleinrichtung eingegeben werden. Dadurch kann die Pump-

grenzfunktion sehr genau festgelegt, gleichsam kalibriert werden. Zum Zwecke der Kalibrierung der Pumpgrenzfunktion wird der Turboverdichter kurzzeitig an seiner Pumpgrenze betrieben. Die zugeordneten Druck-, Temperatur- und Volumenstrommeßwerte werden aufgenommen und die angegebenen Gleichungen zur Ermittlung der Koeffizienten m_0 , b_0 ausgewertet.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind darin zu sehen, daß Verschiebungen der Pumpgrenze infolge von Änderungen der Ansaug- und Rückkühltemperaturen berücksichtigt werden und die Lage der Pumpgrenze bei Änderungen des Betriebspunktes des Turboverdichters sehr genau vor ausgesagt wird. Es kann mit kleinen Sicherheitsabständen zur Pumpgrenze gearbeitet und der Volumenregelbereich von mehrstufigen, zwischengekühlten Turboverdichtern vollständig ausgenutzt werden. Der zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erforderliche meßtechnische Aufwand ist klein.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von zwei Ausführungsbeispielen ausführlich erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung

Fig. 1 einen mehrstufigen, zwischengekühlten Turboverdichter mit einer Einrichtung zur Überwachung der Pumpgrenze,

Fig. 2 und 3 Kennfelder eines mehrstufigen Turboverdichters,

Fig. 4 und 5 Kennfelder von zwei dreistufigen, zwischengekühlten Turboverdichtern mit berechneter Pumpgrenze und mit in Feldversuchen ermittelten Pumpgrenzwerten im Vergleich dazu.

Der in der Fig. 1 dargestellte Turboverdichter ist insbesondere für Luft oder Stickstoff (aber nicht ausschließlich) bestimmt. Es handelt sich um einen mehrstufigen Turboverdichter mit Rückkühlung des Gasstromes in jeder Stufe. Der Turboverdichter weist eine Kontrolleinrichtung 1 mit Datenspeicher auf, die zur Überwachung der Pumpgrenze vorgesehen ist und auf ein Absperrventil 2 in einer druckseitig angeordneten Abblasleitung 3 arbeitet. Nähert sich der Betriebspunkt des Turboverdichters der Pumpgrenze, so wird durch die Kontrolleinrichtung 1 das Absperrventil 2 geöffnet. Das Absperrventil könnte auch in einer Umwälzleitung installiert sein, welche Druck- und Saugseite des Verdichters miteinander verbindet. Der Turboverdichter ist mit Meßeinrichtungen zur Messung des eintrittsseitigen Druckes p_1 , des austrittsseitigen Druckes p_2 und des durch den Verdichter geführten Gas-Volumenstromes F ausgerüstet. Ferner sind Temperaturmeßstellen vorgesehen zur Messung der Ansaugtemperatur T_s am Eintritt in die erste Verdichterstufe sowie zur Messung der Rückkühltemperaturen T_{ri} . Rückkühltemperatur bezeichnet die Temperatur im Gasstrom in Strömungsrichtung hinter den zur Rückkühlung vorgesehenen Wärmetauschern 4. Sämtliche Meßwerte werden der Kontrolleinrichtung 1 zugeführt.

In der Kontrolleinrichtung 1 ist eine Pumpgrenzfunktion

$$Y = m \cdot F + b$$

abgespeichert, welche den Verlauf der Pumpgrenze im Kennfeld ganz oder abschnittsweise beschreibt. Der Funktionswert Y entspricht der Druckdifferenz oder dem Druckverhältnis zwischen dem verdichteraustrittsseitigen Druck p_2 und dem verdichterseitigen Druck p_1 . Die Koeffizienten m , b sind lineare Funktionen der An-

saugtemperatur T_s und der Rückkühltemperaturen T_{ri} und werden gemäß

$$\begin{aligned} m &= m_0 + m_1 \cdot (T_s - T_{ref}) + \sum m_{2i} \cdot (T_{ri} - T_{refi}) \\ b &= b_0 + b_1 \cdot (T_s - T_{ref}) + \sum b_{2i} \cdot (T_{ri} - T_{refi}) \end{aligned} \quad 5$$

bestimmt. T_{ref} , T_{refi} sind frei wählbare Referenztemperaturen. Zweckmäßigerweise werden als Referenztemperaturen die Auslegungstemperaturen eingesetzt, die der thermodynamischen Auslegung des Turboverdichters zugrundeliegen. 10

Die Kennfelder des Verdichters für verschiedene Ansaug- und Rückkühltemperaturen einschließlich Pumpgrenze werden durch Überlagerung der Einzelstufenkennlinien theoretisch bestimmt. Dann wird die Pumpgrenze durch Geraden für alle berechneten Fälle approximiert. Die Parameter m_0 , m_1 , m_{2i} , b_0 , b_1 , b_{2i} werden durch Lösen von linearen Gleichungssystemen bestimmt. 15

Die Fig. 2 und 3 zeigen Kennfelder eines mehrstufigen Turboverdichters, wobei der Verlauf der Pumpgrenze abschnittsweise durch die lineare Pumpgrenzfunktion 20

$$Y = m \cdot F + b \quad 25$$

angenähert ist. Änderungen der Ansaug- und Rückkühltemperaturen führen zu in den Fig. 2 und 3 schematisch dargestellten Verschiebungen der Pumpgrenze.

Die Fig. 4 und 5 zeigen die Kennfelder von zwei dreistufigen Turboverdichtern mit Eintrittsleitapparat als Regelorgan für Betriebseinstellungen im Volumenregelbereich. Der Verlauf der Pumpgrenze ist durch die Pumpgrenzfunktion ganz (Fig. 4) oder abschnittsweise (Fig. 5) angenähert. Aus einer vergleichenden Betrachtung der durchgezogenen und gestrichelten Linien ist der Temperatureinfluß für die Pumpgrenze ersichtlich. Zusätzlich eingetragen sind Pumpgrenzwerte, die am Turboverdichter in Feldversuchen ermittelt wurden. 30

Der Vergleich macht deutlich, daß die in der Kontrolleinrichtung 1 abgespeicherte Pumpgrenzfunktion den Verlauf der Pumpgrenze mit großer Genauigkeit voraussagt, und zwar auch bei Temperaturänderungen des Gasstromes. 40

Nach der in der Kontrolleinrichtung abgespeicherten Pumpgrenzfunktion wird mit den Druckmeßwerten p_1 , p_2 oder dem Volumenmeßwert F sowie den Temperaturmeßwerten T_s , T_{ri} ein dem Betriebspunkt des Turboverdichters zugeordneter Pumpgrenzwert ermittelt. Die Volumenstrom- und Druckmeßwerte F , p_1 , p_2 werden mit diesem Pumpgrenzwert verglichen und bei Unterschreiten eines vorgegebenen Mindestabstandes von dem Pumpgrenzwert wird ein Warnsignal oder ein Steuersignal zum Öffnen des Absperrventils 2 abgegeben. 55

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze eines mehrstufigen, zwischengekühlten Turboverdichters, wobei 60

— die Ansaugtemperatur (T_s) am Eintritt in eine erste Verdichterstufe des Turboverdichters sowie die Rückkühltemperaturen (T_{ri}) in den nachgeschalteten Verdichterstufen ($i = 1$ bis Anzahl der Zwischenkühlungen) jeweils nach der Zwischenkühlung gemessen, die Temperaturmeßwerte (T_s , T_{ri}) einer Kontroll- 65

einrichtung mit Datenspeicher zugeführt und Temperaturdifferenzen (dT_s , dT_{ri}) von einer vorgegebenen Referenztemperatur (T_{ref}) ermittelt werden,

— der eintrittsseitige Druck (p_1) und der austrittsseitige Druck (p_2) des Turboverdichters sowie der durch den Turboverdichter geführte Volumenstrom (F) gemessen werden und die Meßwerte (p_1 , p_2 , F) ebenfalls der Kontrolleinrichtung mit Datenspeicher zugeführt werden, — entweder mit den Druckmeßwerten (p_1 , p_2) oder dem Meßwert des Volumenstroms (F) sowie den Temperaturdifferenzen (dT_s , dT_{ri}) nach einer in der Kontrolleinrichtung abgespeicherten Pumpgrenzfunktion

$$Y = m \cdot F + b,$$

welche den Verlauf der Pumpgrenze im Verdichterkennfeld zumindest abschnittsweise beschreibt, ein dem Betriebspunkt des Turboverdichters zugeordneter Pumpgrenzwert ermittelt wird, wobei Y der Druckdifferenz oder dem Druckverhältnis zwischen dem austrittsseitigen Druck (p_2) und dem eintrittsseitigen Druck (p_1) entspricht,

wobei ferner die Koeffizienten m , b lineare Funktionen der Ansaugtemperatur (T_s) und der Rückkühltemperaturen (T_{ri}) sind und unter Verwendung der gemessenen Temperaturdifferenzen (dT_s , dT_{ri}) gemäß

$$\begin{aligned} m &= m_0 + m_1 \cdot dT_s + \sum m_{2i} \cdot dT_{ri} \\ b &= b_0 + b_1 \cdot dT_s + \sum b_{2i} \cdot dT_{ri} \end{aligned}$$

ermittelt werden,

und wobei die Volumenstrom- und Druckmeßwerte (F , p_1 , p_2) mit dem Pumpgrenzwert verglichen sowie bei Unterschreiten eines vorgegebenen Mindestabstandes ein Warnsignal oder ein Steuersignal zum Öffnen eines Absperrventils in einer druckseitig angeordneten Abblasleitung oder in einer Druck- und Saugseite des Verdichters verbindenden Umwälzleitung abgegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei aus den Rückkühltemperaturmeßwerten (T_{ri}) durch arithmetische Mittelung über die Verdichterstufen ($i = 1$ bis Anzahl der Zwischenkühlungen) eine mittlere Rückkühltemperatur (T_r) bestimmt und diese mittlere Rückkühltemperatur (T_r) zur Berechnung der Koeffizienten m , b verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen durch Variation der Ansaug- und Rückkühltemperaturen bestimmten Temperaturkoeffizienten m_1 , b_1 , m_{2i} , b_{2i} als Festwerte in der Kontrolleinrichtung abgespeichert sind und wobei der Turboverdichter zum Zwecke einer Kalibrierung der Pumpgrenzfunktion kurzzeitig an seiner Pumpgrenze betrieben, die zugeordneten Druck-, Temperatur- und Volumenstrommeßwerte (p_1 , p_2 , T_s , T_{ri} , F) aufgenommen sowie daraus die Koeffizienten m_0 , b_0 für die Pumpgrenzfunktion ermittelt und diese als Eingabewerte in die Kontrolleinrichtung eingegeben werden.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

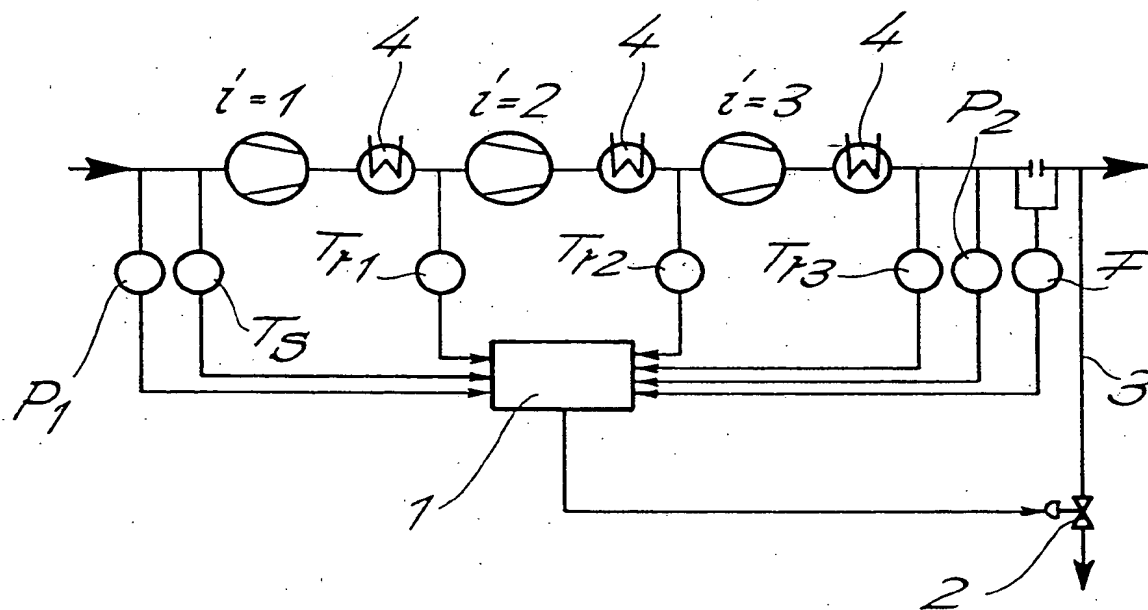


Fig. 2

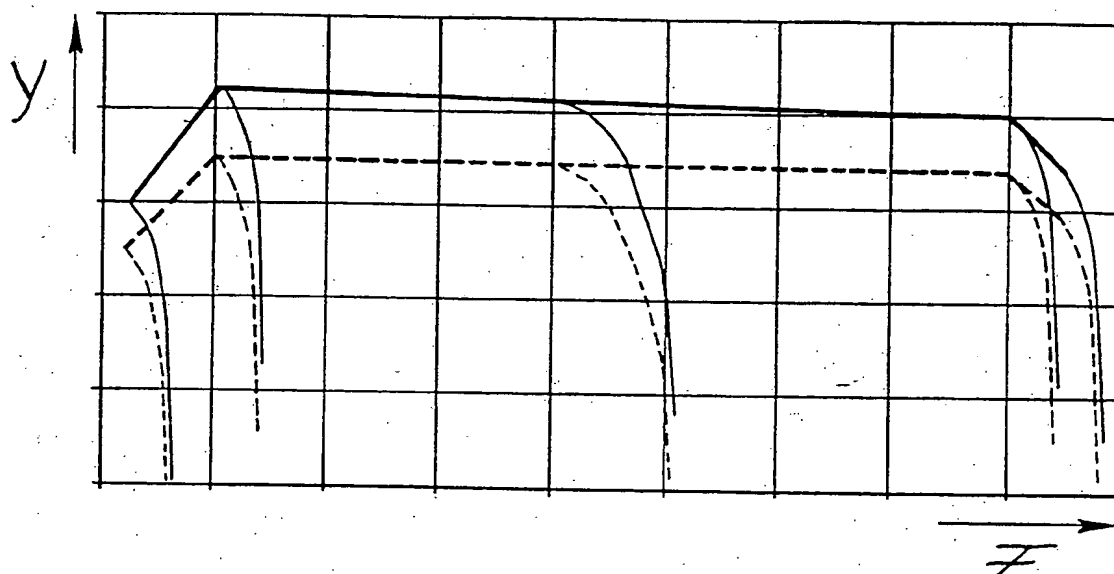


Fig. 3

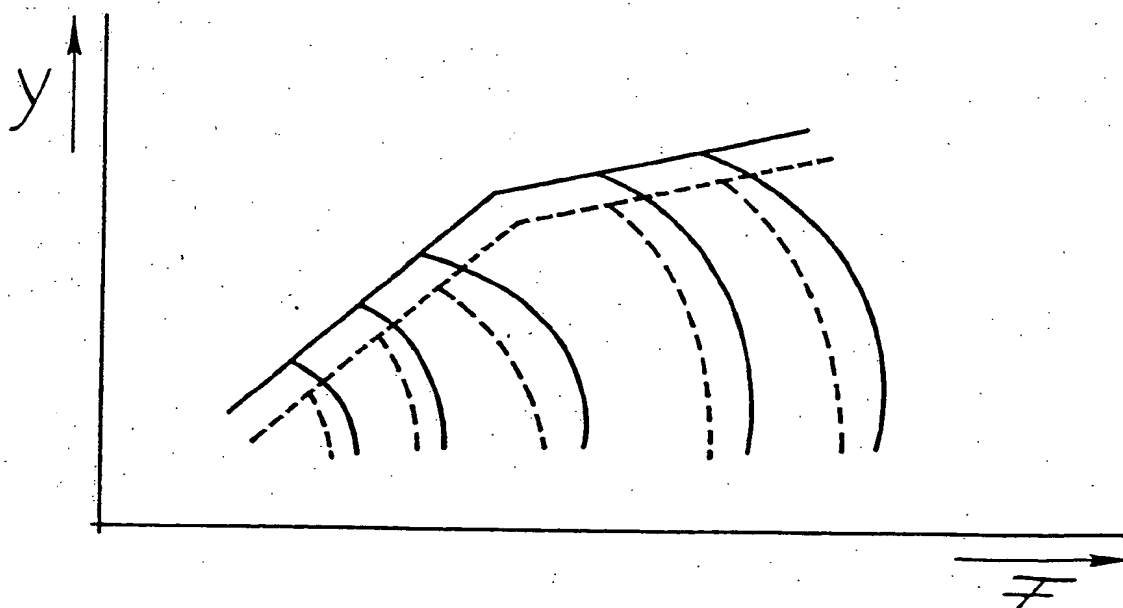


Fig. 4

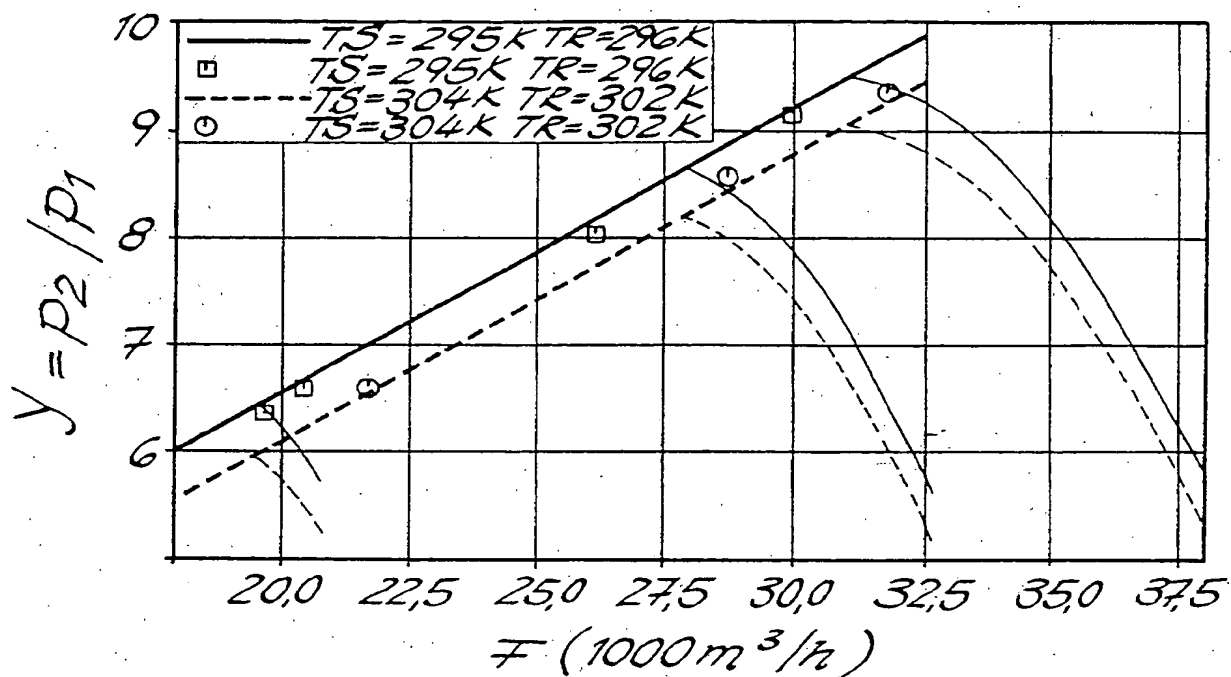


Fig. 5

